

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-223512

(43)Date of publication of application : 26.08.1997

(51)Int.Cl. H01M 8/04

(21)Application number : 08-028827

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 16.02.1996

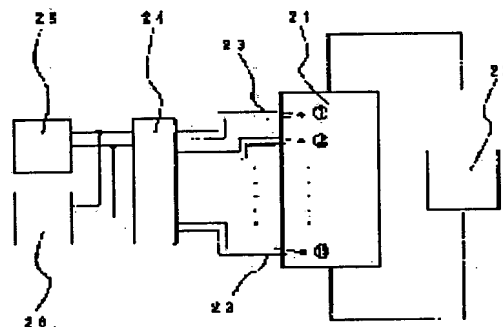
(72)Inventor : ASANO AKIHIKO

(54) ABNORMALITY MONITORING METHOD OF FUEL CELL AND DEVICE THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately measure the generating electric current density distribution inside of a fuel cell, and precisely seize the existence of operational abnormality of the fuel cell.

SOLUTION: Thermocouples 23 are dispersively arranged inside a fuel cell 21, and a load current of the fuel cell 21 is changed in time by an electronic load device 22, and temperature outputs detected by the thermocouples 23 are selected by a multiplexer 24. The distribution is found by measuring its AC component by an AC voltmeter 26, and the in plane distribution of electric current density is seized by proportionally distributing the load current in a plane, and abnormality inside of the fuel cell 21 is seized by the existence of its abnormality.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-223512

(43) 公開日 平成9年(1997)8月26日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 M 8/04

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 M 8/04

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-28827

(22) 出願日 平成8年(1996)2月16日

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 浅野 明彦

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

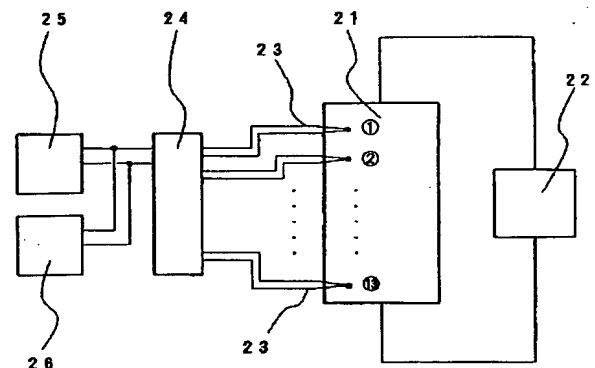
(74) 代理人 弁理士 山口 巖

(54) 【発明の名称】 燃料電池の異常監視方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】燃料電池内部の発生電流密度分布が正確に計測され、燃料電池の動作の異常の有無が的確に把握される異常監視方法、およびその装置を得る。

【解決手段】燃料電池21の内部に熱電対23を分散配置し、電子負荷装置22により燃料電池21の負荷電流を時間的に変化させ、熱電対23で検出された温度出力をマルチプレクサ24で選択し、その交流成分を交流電圧計26で測定して分布を求め、負荷電流を面内で比例配分することにより電流密度の面内分布を把握し、その異常の有無により燃料電池21の内部の異常を把握する。



21 …… 燃料電池

22 …… 電子負荷装置

23 …… 熱電対

24 …… マルチプレクサ

25 …… 直流電圧計

26 …… 交流電圧計

【特許請求の範囲】

【請求項1】燃料電極触媒層および燃料電極基材からなる燃料電極と、酸化剤電極触媒層および酸化剤電極基材からなる酸化剤電極と、燃料電極および酸化剤電極に挟持される電解質層とからなるセルが、複数積層されてなり、

燃料電極に備えた燃料ガス通流溝に燃料ガスを通流し、酸化剤電極に備えた酸化剤ガス通流溝に酸化剤ガスを通流し、該燃料ガスおよび酸化剤ガス（以下、反応ガスという）の反応エネルギーを電気化学的な作用により電力に変換する燃料電池の、前記燃料電極および酸化剤電極の面内における発電電流密度の異常の監視方法であって、

燃料電池の負荷電流を時間的に変化させ、前記燃料電極基材または酸化剤電極基材、反応ガス通流溝、電解質層からなる群から選ばれるいずれかの面内の任意位置における温度を測定し、前記負荷電流の時間的な変化に追従する温度の時間変化量から、該任意位置における発生熱量を求めることにより、前記電極面内における発電電流密度分布を計測して燃料電池の異常を検知することを特徴とする燃料電池の異常監視方法。

【請求項2】燃料電極触媒層および燃料電極基材からなる燃料電極と、酸化剤電極触媒層および酸化剤電極基材からなる酸化剤電極と、燃料電極および酸化剤電極に挟持される電解質層とからなるセルが、複数積層されてなり、

燃料電極に備えた燃料ガス通流溝に燃料ガスを通流し、酸化剤電極に備えた酸化剤ガス通流溝に酸化剤ガスを通流し、反応ガスの反応エネルギーを電気化学的な作用により電力に変換する燃料電池において、

燃料電池の異常監視装置が、前記燃料電極基材または酸化剤電極基材、反応ガス通流溝、電解質層からなる群から選ばれるいずれかの面内の任意位置における温度を測定する温度測定素子と、該温度測定素子の検出出力の交流成分を計測する測定器と、

前記燃料電池の負荷電流を制御する電子負荷装置とを備えてなることを特徴とする燃料電池の異常監視装置。

【請求項3】請求項2に記載の燃料電池の異常監視装置において、前記温度測定素子が熱電対であることを特徴とする燃料電池の異常監視装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】この発明は、リン酸型、固体高分子電解質膜型等の燃料電池の、電極面内における発電電流密度の異常の監視方法、およびその異常監視装置に関する。

【0002】

【従来の技術】図9は、リン酸型燃料電池の単セルの基

本構成を模式的に示す斜視図である。リン酸を担持したマトリックスからなる平板状の電解質層3を、酸化剤電極触媒層2および酸化剤電極基材1からなる酸化剤電極と、燃料電極触媒層4および燃料電極基材5からなる燃料電極とにより挟持して構成されており、酸化剤電極基材1の外面には空気等の酸化剤ガスを通流する複数の酸化剤ガス通流溝1aが形成され、また燃料電極基材5の外面には水素等の燃料ガスを通流する複数の燃料ガス通流溝5aが酸化剤ガス通流溝1aと直交方向に形成されている。このように構成された単セルを積層してリン酸型燃料電池が形成されている。

【0003】このような構成においては、燃料ガス通流溝5aを流れる燃料ガス中の水素濃度、および酸化剤ガス通流溝1aを流れる空気中の酸素濃度は、面内での電気化学反応に伴って、出口側に行くほど低下することとなるので、面内での発電電流密度も、各ガスの入口から出口に行くに従って低下することとなる。発電電流密度が高い部分では発熱が大きく、発電電流密度が低い部分では発熱が小さくなるので、燃料ガス入口と空気入口に近接した部分では電池温度が相対的に高温となり、燃料ガス出口と空気出口に近接した部分では相対的に低温となる。このようにして生じる温度分布が過大になると、マトリックス中のリン酸が、高温部分では蒸発し、低温部分では凝縮して、面内でリン酸が移動する現象が生じる原因となる。この現象が長期にわたり継続すると、面内でリン酸の過剰部分、不足部分が生じ、燃料電池の寿命を低下させる原因となる。したがって、発電電流密度の差異が過大とならないよう監視する必要がある。

【0004】また、製造段階で生じる品質のバラツキも面内の発電電流密度の分布を形成する要因となるが、その分布が正常範囲内か否かを評価、把握することは、燃料電池の品質管理上も重要な課題である。このように、燃料電池における発電電流密度の分布は、燃料電池の特性を評価する上で重要な指標である。

【0005】従来、燃料電池の面内および積層方向での発生電流密度分布を計測する方法としては、例えばリン酸型燃料電池について堤らが、電気学会論文誌 B、第109巻4号（1989年）、p.169 に発表している方法が知られている。図10は、彼らによる燃料電池の電流密度分布の計測方法を示す燃料電池の要部断面図である。図において、11は紙面の左右方向に酸化剤ガス通流溝11aを備えた第一セルの陰極（酸化剤電極）、13は紙面の鉛直方向に燃料ガス通流溝13aを備えた第二セルの陽極（燃料電極）、14は第二セルの電解質層、15は紙面の左右方向に酸化剤ガス通流溝15aを備えた第二セルの陰極、17は紙面の鉛直方向に燃料ガス通流溝17aを備えた第三セルの陽極であり、12は第一セルと第二セルとを気密に分離する分離板、16は第一セルと第二セルとを気密に分離する分離板である。本構成において、図のように、酸化剤ガス通流溝11aと燃料ガ

ス流通溝17aの所定位置に一对の電位測定線を挿入して電圧 V_s を測定し、さらに燃料ガス流通溝13aと酸化剤ガス流通溝15aの上記の所定位置に相対する位置に一对の電位測定線を挿入して電圧 V_e を測定して、第二セルにおける上記の所定位置での抵抗電位降下を $(V_s - V_e) / 2$ により求める。さらに、このようにして得られる抵抗電位降下と電流密度が比例関係にあるものとして、電流密度を評価する。電位測定線による測定点を変えて面内および積層方向の各所定位置での抵抗電位降下を測定することにより、面内および積層方向の電流密度の分布が評価されることとなる。

【0006】この他、本発明者による、燃料ガス中の水素濃度の分布、あるいは酸化剤ガス中の酸素濃度分布を測定し、その分布より電流密度分布を求めて、燃料電池内部の異常を監視する方法(特願平7-26414号参照)がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、従来の燃料電池の異常監視においては、燃料電池内部の抵抗電位降下を測定し、その値より電流密度を評価して異常を監視する方法が採られている。しかしながら本方法では、抵抗電位降下の測定の際、電流が流れる経路、面積が、抵抗電位降下の測定位置によって異なり、かつ不明であるため、抵抗電位降下を正確に電流密度に換算することは不可能である。したがって、本測定方法で得られる電流密度分布の面内分布は多大の誤差を伴うので、本測定方法の電流密度による燃料電池の異常監視方法は正確さに欠けるという問題点がある。

【0008】また、燃料ガス中の水素濃度の分布、あるいは酸化剤ガス中の酸素濃度分布より電流密度分布を求めて燃料電池内部の異常を監視する方法においては、燃料電池内部に例えばステンレス細管を挿入してサンプルガスを採取し分析する方法が採られるので、面内の分布を求めるのにある程度の時間が必要となるという難点がある。

【0009】この発明は、上記のごとき従来技術の難点を考慮してなされたもので、簡便な方法により、燃料電池の面内および積層方向の発生電流密度分布が正確に計測され、燃料電池の動作の異常の有無が的確に監視される燃料電池の異常監視方法、およびその装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明においては、(1) 燃料電極触媒層および燃料電極基材からなる燃料電極と、酸化剤電極触媒層および酸化剤電極基材からなる酸化剤電極と、燃料電極および酸化剤電極に挟持される電解質層とからなるセルが、複数積層されてなり、燃料電極に備えた燃料ガス流通溝に燃料ガスを通流し、酸化剤電極に備えた酸化剤ガス流通溝に酸化剤ガスを通流し、これらの反応ガスの反応エ

ネルギーを電気化学的な作用により電力に変換する燃料電池において、燃料電池の負荷電流を時間的に変化させ、燃料電極基材または酸化剤電極基材、反応ガス流通溝、電解質層からなる群から選ばれるいずれかの面内の任意位置における温度を測定し、負荷電流の時間的な変化に追従する温度の時間変化量から、その位置における発生熱量を求めることにより、面内における発電電流密度分布を計測し、その異常を検知して燃料電池の異常を監視することとする。また、(2) 燃料電極触媒層および燃料電極基材からなる燃料電極と、酸化剤電極触媒層および酸化剤電極基材からなる酸化剤電極と、燃料電極および酸化剤電極に挟持される電解質層とからなるセルが、複数積層されてなり、燃料電極に備えた燃料ガス流通溝に燃料ガスを通流し、酸化剤電極に備えた酸化剤ガス流通溝に酸化剤ガスを通流し、これらの反応ガスの反応エネルギーを電気化学的な作用により電力に変換する燃料電池において、燃料電池の異常監視装置を、上記の燃料電極基材または酸化剤電極基材、反応ガス流通溝、電解質層からなる群から選ばれるいずれかの面内の任意位置における温度を測定する温度測定素子、例えば熱電対と、この温度測定素子の検出出力の交流成分を計測する測定器と、上記の燃料電池の負荷電流を制御する電子負荷装置とを備えて構成することとする。

【0011】上記(1)のごとき方法を用いれば、負荷電流の時間的な変化に追従する温度の時間変化量から、電極面内の任意の位置における発生熱量を原理的に算出可能であり、一方、燃料電池の各部の発生熱量はある近似の下で発電電流密度に比例するため、該位置における発電電流密度を求めることが可能である。従って、電極面内における発電電流密度分布を求めることができ、燃料電池内の異常の有無を検知することができる。

【0012】本方法においては、以下に説明する原理に基づいて、負荷電流の時間的な変化にともなう温度の時間変化量から、その位置の発生熱量を知ることができることとなる。すなわち、図9に示したごときリン酸型燃料電池の単セルの、負荷電流密度 J [kA/m²]に対する端子電圧 V [V]の変化、すなわち電圧-電流密度特性($V-J$ 特性)は、図11のごとくとなる。負荷電流密度 J の増加に伴い、内部抵抗等の影響で端子電圧 V は低下する。単位面積あたりの発電電力密度 P_1 [W/m²]および損失電力密度 P_2 [kW/m²]はそれぞれ次式で表される。

【0013】

$$\text{【数1】 } P_1 = J \times V \quad (1)$$

$$P_2 = J \times (1.23 - V) \quad (2)$$

P_2 は燃料電池内部で発生する熱量に等しいので、式(2)と図11の $V-J$ 特性を合わせ見ることにより、電流密度 J の増加により発生熱量も増加することが分かる。特に図9に示すような構造のリン酸型燃料電池で基材の抵抗率が十分小さい場合には、電極面内での端子電

圧が数mVの範囲内ではほぼ一定となるので、発電電力密度 P_1 と発生熱量密度は電流密度 J にほぼ比例することになる。

【0014】さて、電極面内で電流密度 J の分布が存在する場合には損失電力による熱量分布が形成される。この熱量分布と境界条件で決まる温度分布が面内の定常的な温度分布となる。一方、図4に例示するように、負荷電流に例えば交流的な変調をかけた場合には、面内各点の温度分布は時間的に平均した電流密度 J_{DC} で決まる定常的な温度分布 T_{DC} と変調電流密度 J_{AC} に同期した交流成分 T_{AC} の和で表される。温度の交流成分の分布は変調周波数によって決まる交流的な熱拡散長 μ 〔m〕によって決まるので、定常的な温度分布からは独立である。ここで物質の熱拡散長 μ 〔m〕は、熱伝導率を k 〔W/m K〕、密度を ρ 〔kg/m³〕、熱容量を C 〔J/m³〕、変調周波数を f 〔Hz〕、円周率を π とすると、次式で与えられる。

【0015】

$$[\text{数}2] \mu = [k / (\pi f \rho C)]^{1/2} \quad (3)$$

すなわち、変調周波数 f が高いほど熱拡散長が短くなり、境界条件よりも熱源の分布で温度分布が決定されることになる。つまり、十分に高い周波数で負荷電流を変調した場合には、これに伴って生じる温度の交流成分の分布を、発生熱量分布、したがって電流密度分布と見做すことができる。

【0016】また、上記(2)のごとく、燃料電池の電極基材またはガス流通溝または電解質層のいずれかの温度を測定する、例えば熱電対からなる温度測定素子と、温度測定素子の検出出力の交流成分を計測する測定器と、燃料電池の負荷電流を制御する電子負荷装置とを備えて燃料電池の異常監視装置を構成すれば、電子負荷装置で高い周波数で変調した負荷電流が燃料電池に印加され、生じた温度変動が温度測定素子で検出され、その交流成分が測定器で計測されて、電流密度が知られることとなるので、燃料電池内で生じた異常を的確に把握することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の燃料電池の異常監視方法およびその装置の実施の形態を図面を用いて説明する。図1は、本発明の燃料電池の異常監視方法に用いられる異常監視装置の基本構成を示す模式図で、21は実験的に製作された燃料電池、22は燃料電池の負荷電流を制御する電子負荷装置、23は燃料電池に挿入された温度測定用の熱電対、24は熱電対の出力電圧を選択するマルチプレクサ、25は選択された熱電対の出力電圧の直流分を測定する直流電圧計、26は選択された熱電対の出力電圧の交流分を測定する交流電圧計である。

【0018】燃料電池21は、リン酸型燃料電池で、図2に示すように5個の単セル、第1セル31～第5セル35を積層し、上下にそれぞれ冷却板36を配置して形

成されている。積層された5個の単セルはいずれも図9に示したとき構成よりなるもので、燃料電池の電極面積は1m² (1m×1m)、そのうち発電領域の面積は0.81m² (0.9m×0.9m)である。燃料ガスとしては水素65%と二酸化炭素35%の混合ガスを、また酸化剤ガスとしては空気を用いている。また、発電時の水素利用率は80%、酸素利用率は50%である。

【0019】また、燃料電池21は、積層された5個の単セルのうち中央部に位置する第3セル33に計13個の熱電対23を備えている。これらの熱電対23は、いずれも外径0.6mmのステンレス・シース付きのクロメル-アルメル熱電対で、酸化剤電極の酸化剤ガス流通溝(図9の1a)に挿入し、その検出端が、図3に黒点で示した位置となるよう分散配置されている。なお、図3において、33は第3セル、したがって電極領域を示し、40は発電領域を示している。

【0020】本構成において、燃料電池21に燃料ガスと空気を供給し、電子負荷装置22によって負荷電流を制御して、各測定点の電極温度を測定した。負荷電流は、図4に示したように、10〔ms〕の間2.0〔kA〕に保持したのち10〔ms〕の間2.8〔kA〕に保持するサイクルを繰り返すものとした。すなわち平均2.4〔kA〕の負荷電流を50〔Hz〕の周波数で変調した。各熱電対23の出力をマルチプレクサ24に導き、切り替えながら、その出力電圧の直流成分を直流電圧計25で測定し、交流成分は交流電圧計26で測定した。

【0021】以上の条件で測定したところ、時間的に変化する温度の直流成分については図5のごとき面内分布が、また交流成分については図6のごとき面内分布が得られた。図5、図6とも、発電領域40の0.9m×0.9mの部分の温度を表示したもので、図3に示した測定点に対応する位置の測定値、並びにこれらの測定値より算出される等高線が表示されており、記された数値の単位は、いずれも〔℃〕である。図5では、燃料ガスと空気の上流側に近い、図上の(300mm, 300mm)の点の近傍が最大値を示しているのに対して、図6では、燃料ガスと空気の最上流部が最大となり、下流に行くに従い減少しているのが特徴的である。

【0022】一方、上記の燃料電池21について、電気化学反応に伴う燃料ガス中の水素濃度の面内での変化、空気中の酸素濃度の面内での変化や電極端部での境界条件をもとにして数値シミュレーションを行い、得られた温度の面内分布を図7に、また、電流密度の面内分布を図8に示す。いずれも発電領域40の内部における分布を等高線で表示したもので、図7に示した温度の単位は〔℃〕、図8に示した電流密度の単位は〔kA/m²〕である。

【0023】図6と図8を比較すると、原理的に予測されたように、上述の方法で測定された温度の交流成分の分布(図6)が電流密度の面内分布(図8)と良く一致

していることが分かる。すなわち、燃料電池に変調した負荷電流を流し、温度の変化量を測定して分布を求め、燃料電池の発電電流を面内で比例配分することで、電流密度の面内分布が求められる。したがって、上述の方法を用いれば、燃料電池内部の電流密度の異常が正確に検知され、燃料電池の異常を的確に監視できることとなる。

【0024】なお、上記の例においては、燃料電池21の第3セル33に熱電対23からなる温度測定素子を分散配置するものとしているが、他の単セルにも温度測定素子を配すれば、積層方向の単セル間での異常が検知されることとなる。また、上記の例では酸化剤ガス通流溝1aに熱電対23からなる温度測定素子を挿入して温度を測定しているが、反応ガス通流溝のみならず、電極基材あるいは電解質層の温度を測定することとしても、同様な効果が得られる。さらにまた、温度変化の交流成分の測定器として、交流電圧計の代わりに、例えば、Princeton Applied Research 社やエヌエフ回路設計ブロック社で製造しているロックイン・アンプを用いれば、負荷電流の変化に同期した熱電対の出力電圧がより高精度で測定することができることとなり、燃料電池の異常の監視により効果的である。

【0025】

【発明の効果】上述のように、本発明によれば、

(1) 燃料電極触媒層および燃料電極基材からなる燃料電極と、酸化剤電極触媒層および酸化剤電極基材からなる酸化剤電極と、燃料電極および酸化剤電極に挟持される電解質層とからなるセルが、複数積層されてなり、燃料電極に備えた燃料ガス通流溝に燃料ガスを通流し、酸化剤電極に備えた酸化剤ガス通流溝に酸化剤ガスを通流し、これらの反応ガスの反応エネルギーを電気化学的な作用により電力に変換する燃料電池において、燃料電池の負荷電流を時間的に変化させ、燃料電極基材または酸化剤電極基材、反応ガス通流溝、電解質層からなる群から選ばれるいずれかの面内の任意位置における温度を測定し、負荷電流の時間的な変化に追従する温度の時間変化量から、その位置における発生熱量を求めることにより、面内における発電電流密度分布を計測し、その異常を検知して燃料電池の異常を監視することとしたので、簡便な方法により、燃料電池の面内の電流密度分布が正確に計測、評価できることとなり、燃料電池の異常の有無を的確に把握する異常監視方法が得られることとなった。

【0026】(2) また、燃料電極触媒層および燃料電極基材からなる燃料電極と、酸化剤電極触媒層および酸化剤電極基材からなる酸化剤電極と、燃料電極および酸化剤電極に挟持される電解質層とからなるセルが、複数積層されてなり、燃料電極に備えた燃料ガス通流溝に燃料ガスを通流し、酸化剤電極に備えた酸化剤ガス通流溝に酸化剤ガスを通流し、これらの反応ガスの反応エネルギー

を電気化学的な作用により電力に変換する燃料電池において、燃料電池の異常監視装置を、上記の燃料電極基材または酸化剤電極基材、反応ガス通流溝、電解質層からなる群から選ばれるいずれかの面内の任意位置における温度を測定する温度測定素子、例えば熱電対と、この温度測定素子の検出出力の交流成分を計測する測定器と、上記の燃料電池の負荷電流を制御する電子負荷装置とを備えて構成することとすれば、燃料電池の異常の有無を的確に把握できる異常監視装置が得られることとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の燃料電池の異常監視方法に用いられる異常監視装置の基本構成を示す模式図

【図2】図1の異常監視装置を組み込んだ燃料電池の断面図

【図3】図2の燃料電池の第3セルに組み込まれた熱電対の電極面内の配置図

【図4】図1の異常監視装置の電子負荷装置により制御された燃料電池の負荷電流の時間変化の特性図

【図5】燃料電池に図4の負荷電流を通流したとき第3セルに組み込まれた熱電対で計測された温度の直流成分の電極面内の分布図

【図6】燃料電池に図4の負荷電流を通流したとき第3セルに組み込まれた熱電対で計測された温度の交流成分の電極面内の分布図

【図7】数値シミュレーションにより得られた図2の燃料電池の電極温度の電極面内の分布図

【図8】数値シミュレーションにより得られた図2の燃料電池の電流密度の電極面内の分布図

【図9】リン酸型燃料電池の単セルの基本構成を模式的に示す斜視図

【図10】従来の燃料電池の電流密度分布の計測方法を示す燃料電池の要部断面図

【図11】リン酸型燃料電池の単セルの代表的な電圧-電流密度特性を示す特性図

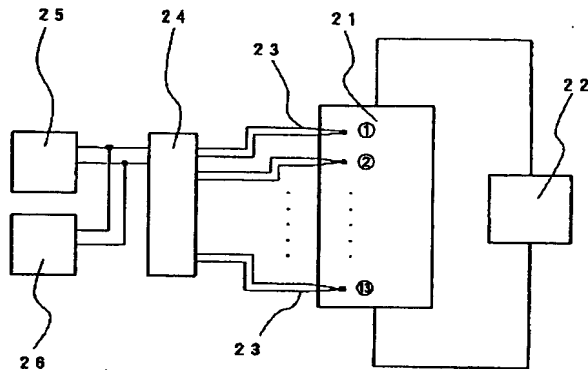
【符号の説明】

- 1 酸化剤電極基材
- 1a 酸化剤ガス通流溝
- 2 酸化剤電極触媒層
- 3 電解質層
- 4 燃料電極触媒層
- 5 燃料電極基材
- 5a 燃料ガス通流溝
- 21 燃料電池
- 22 電子負荷装置
- 23 熱電対
- 24 マルチプレクサ
- 25 直流電圧計
- 26 交流電圧計
- 31 第1セル

32 第2セル
33 第3セル
34 第4セル

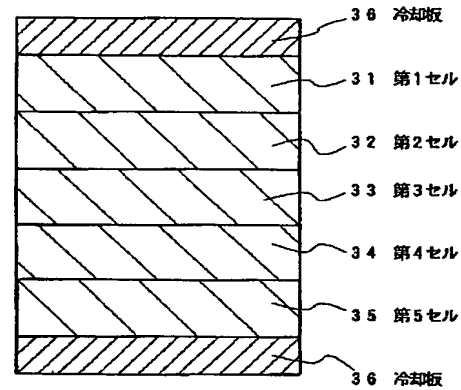
35 第5セル
36 冷却板
40 発電領域

【図1】

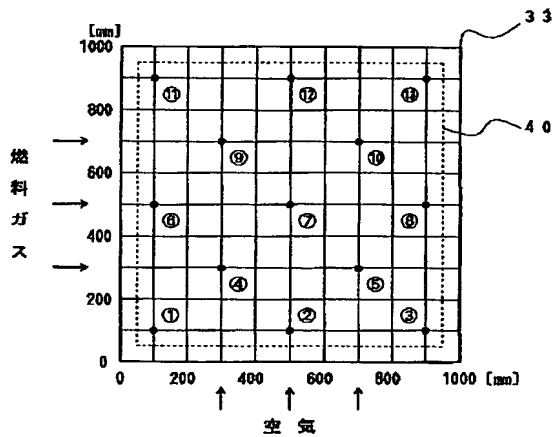


21 燃料電池
22 電子負荷装置
23 放電対
24 マルチプレクサ
25 直流電圧計
26 交流電圧計

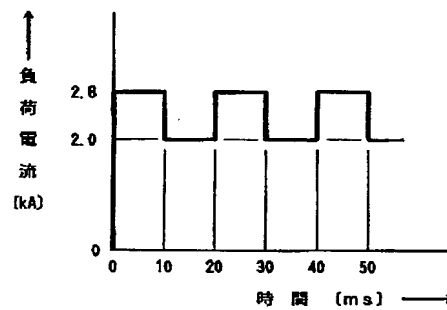
【図2】



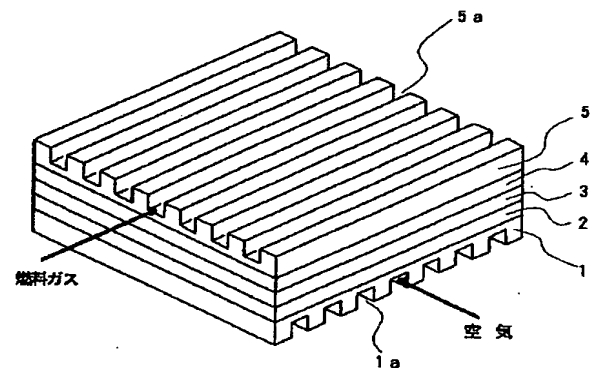
【図3】



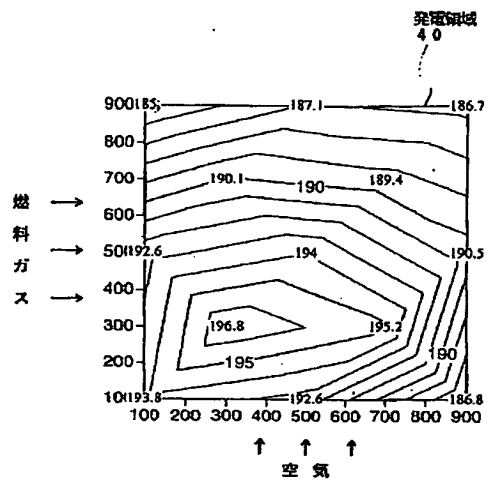
【図4】



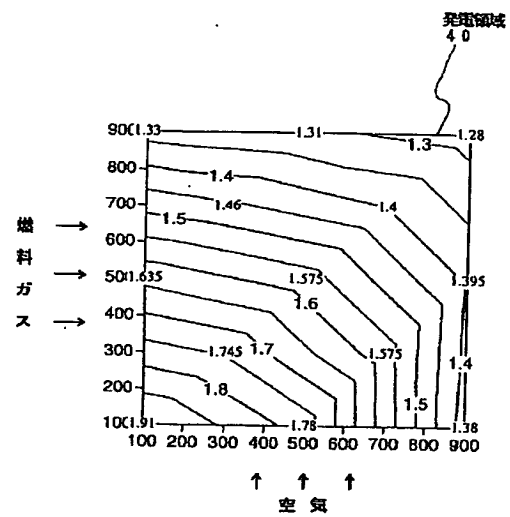
【図9】



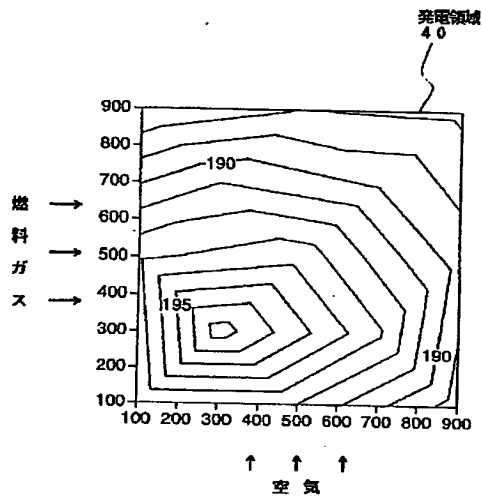
【図5】



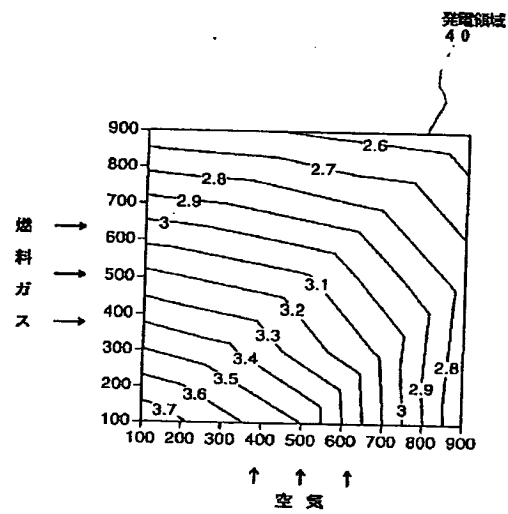
【図6】



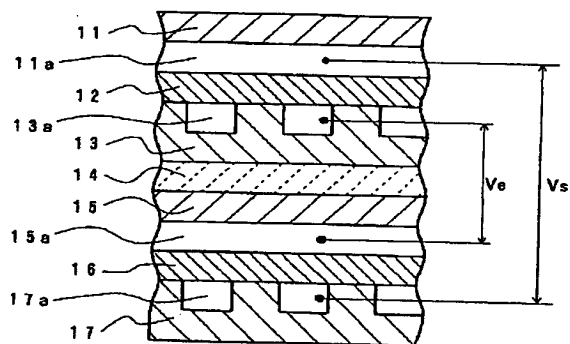
【図7】



【図8】



【図10】



【図11】

